

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 10288799  
PUBLICATION DATE : 27-10-98

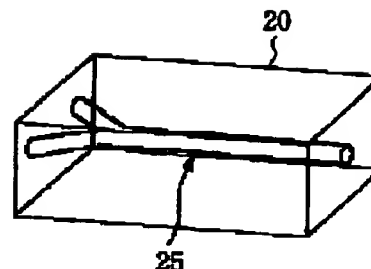
APPLICATION DATE : 14-04-97  
APPLICATION NUMBER : 09096161

APPLICANT : MIURA SEIKI;

INVENTOR : HIRAO KAZUYUKI;

INT.CL. : G02F 1/35 G02B 6/12 G02F 1/313

TITLE : OPTICAL WAVEGUIDE CIRCUIT AND  
NONLINEAR OPTICAL DEVICE



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain an optical waveguide circuit into which an optical waveguide is easily written in spite of an intricate shape.

SOLUTION: A glass material 20 exhibiting a nonlinear optical effect is formed as a base body or as part of this base body and the part changed in refractive index by irradiation with the condensed beam of a laser beam is formed as the optical waveguide 25 in the base body. Oxide glass, halide glass, sulfide glass, chalcogenide glass, etc., are used as the glass material 20. The optical waveguide 25 is branched to, for example, a two-forked shape and the one branched optical waveguide 25 is formed within the glass material exhibiting the nonlinear optical effect. As a result, the optical switch of high responsiveness built into an optical Kerr shutter type switch, Mach-Zehnder type switch, directional coupler type switch, etc., is obtd.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-288799

(43)公開日 平成10年(1998)10月27日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 2 F 1/35

G 0 2 F 1/35

G 0 2 B 6/12

1/313

G 0 2 F 1/313

G 0 2 B 6/12

N

H

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 10 頁)

(21)出願番号

特願平9-96161

(22)出願日

平成9年(1997)4月14日

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(71)出願人 597052374

神原 浩久

神奈川県座間市相武台2-183

(71)出願人 596016476

三浦 清貴

奈良県奈良市朱雀1-13-22

(72)発明者 神原 浩久

神奈川県座間市相武台2-183

(74)代理人 弁理士 小倉 亘

最終頁に続く

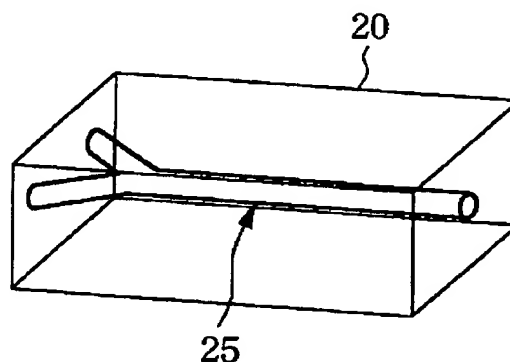
(54)【発明の名称】 光導波回路及び非線形光学装置

(57)【要約】

【課題】 複雑形状でも光導波路が簡便に書き込まれた光導波回路を得る。

【解決手段】 非線形光学効果を呈するガラス材料を基体又は基体の一部とし、レーザ光の集光照射によって屈折率を変化させた部分が光導波路として基体内部に形成されていることを特徴とする。ガラス材料としては、酸化物ガラス、ハロゲン化物ガラス、硫化物ガラス、カルコゲナイドガラス等が使用される。光導波路は、たとえば二股状に分岐され、分岐した一方の光導波路が非線形光学効果を呈するガラス材料の内部に形成されている。

【効果】 光カーシャッタ型スイッチ、マッハ・チェンダー型スイッチ、方向性結合器型スイッチ等に組み込まれ、応答性の高い光スイッチを構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 非線形光学効果を呈するガラス材料を基体又は基体の一部とし、レーザ光の集光照射によって屈折率を変化させた部分が光導波路として基体内部に形成されている光導波回路。

【請求項2】 酸化物ガラス、ハロゲン化物ガラス、硫化物ガラス又はカルコゲナイドガラスを基体とする請求項1記載の光導波回路。

【請求項3】 光導波路が二股状に分岐し、分岐した一方の光導波路が非線形光学効果を呈するガラス材料の内部に形成されている請求項1又は2記載の光導波回路。

【請求項4】 偏光子を介した入射光と共にゲート光が光導波路に入射され、光導波路を通過した入射光を検光子を介して出射光として取り出す光カーシャッタスイッチにおいて、請求項1～3の何れかに記載の光導波回路を使用する非線形光学装置。

【請求項5】 入射したレーザ光を分波し、非線形媒質からなる光導波路に分波された一方の光波を通過させて位相シフトを与え、位相シフトを与えていない他方の光波と合波させ、入力光に変調が加わった出力光を得るマッハ・チェンダー型光スイッチにおいて、請求項1～3の何れかに記載の光導波回路を使用する非線形光学装置。

【請求項6】 近接した2本の導波路のうち一つを非線形導波路とし、一方の導波路に入射された光波モードが他方の導波路に入射された光波モードと結合し、両モード間で起きる伝送光エネルギーの移動により出射端からの光エネルギーをオン・オフする方向性結合器型光スイッチにおいて、請求項1～3の何れかに記載の光導波回路を使用する非線形光学装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光データ処理、情報処理、光通信システム等の光スイッチ、光メモリ、光信号演算処理装置等として有用な光デバイスに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 非線形光学効果を利用した光スイッチ等の光デバイスとして、たとえば光カーシャッタスイッチ、マッハ・チェンダー型光スイッチ、方向性結合器型光スイッチ等が種々知られている。光カーシャッタスイッチ10は、図1に模式的に示すように、偏光軸を互いに直交させたクロスニコル配置で偏光子11及び検光子12を配置し、ガラスセル内に封入された二硫化炭素等の非線形屈折率媒質（カー媒質）13を偏光子11と検光子12との間に介在させている。入力光（プローブ光） $P_i$  はゲートパルス光 $P_g$  でゲーティングされ、ゲートパルスの時間波形に対応した出力光 $P_o$  となる。この構成では、ゲートパルス $P_g$  が入射している間だけ、偏光子11を通過したプローブ光 $P_i$  の直線偏波がカー媒質13の屈折率変化によって楕円偏波に変わる。その

ため、プローブ光 $P_i$  の一部が直交検光子12を通過でき、ゲートパルス $P_g$  のパルスによってプローブ光 $P_i$  が光スイッチされる。

【0003】 検光子12を通過するプローブ光 $P_i$  の通過率は、ゲート光 $P_g$  とプローブ光 $P_i$  の直線偏波のなす角度が $\pi/4$ のとき最大になる。このときのプローブ光 $P_i$  の通過率 $T$ は、 $T \propto \sin^2(n_{2B} L I_g)$  で与えられる。ただし、 $n_{2B}$  はカー定数と呼ばれている非線形屈折率、 $L$  はカー媒質13の長さ、 $I_g (= 4 P_g / \pi D^2)$  はゲート光 $P_g$  のパワー密度、 $D$  はビームのスポットサイズである。なお、導波路型媒質では $D$  をコア径と見做すことができる。二硫化炭素を用いた光カーシャッタスイッチでは、ピコ秒程度の高速度応答を示すことが確認されている。しかし、高速性には優れているものの駆動パワーが極めて高いため、高速性の長所が十分に活用されていない。非線形光学装置の開発において、光導波路を非線形媒質として用いることは、非線形光学材料自体の非線形性が低い場合でも、それを補うことができることから有効な手段の一つと考えられている。しかし、非線形光学ガラス材料を用いて光導波路を作製する従来の方法では、多くの場合、イオン交換法や火炎加水分解法等の工程を経ている。

【0004】 イオン交換法では、たとえば金属膜のスリット状開口からガラス基板表面層に $Ag^+$  イオンを熱的に侵入させ、ガラス中の $Na^+$  イオンと $Ag^+$  イオンを交換する第1段のイオン交換により表面層に導波核を形成した後、ガラス基板に均一な電界を印加して熔融塩中の $Na^+$  イオンをガラス表面に侵入させている。 $Na^+$  イオンは、 $Ag^+$  イオンが形成した最表面の高屈折率領域を表面下に移動させる。その結果、導波路がガラス表面下に埋め込まれ、低伝播損失特性が確保される。この方法で作製された光導波路のコア部は、通常、直径が10～200  $\mu m$  の半円形又はほぼ円形の断面を持ち、1%前後の比屈折率差を示すものが多い。火炎加水分解法では、四塩化シリコン及び四塩化ゲルマニウムの火炎加水分解によりシリコン基板の表面に下クラッド用及びコア用の二層のガラス微粒子層を堆積させ、高温加熱によって微粒子層を透明ガラス層に改質する。次いで、フォトリソグラフィ及び反応性エッチングにより回路パターンをもつコア部を形成する。この方法で作製された光導波路は、膜厚が数 $\mu m$  である。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 従来型の非線形光学装置に用いる光導波路をイオン交換法で作製するとき、イオン交換によって屈折率分布が調整されるため、形成された導波路構造がガラス表面に近い部分に限られる。導波路作製可能なガラスも、イオン交換が可能な材料に限られる。また、イオン交換に長時間を要することから、生産性が低いことも欠点である。更に、同一基板上に種々の二次元的パターンをもつ光導波路を作製できても、

三次元的に組み合わされた光導波路の形成は困難である。そのため、光導波路等としての使用に制約を受け、複雑な回路構成をもつ用途に適用できない。このように、ガラス材料を用いた光デバイスの構成に際し、材料が本来もつ高い非線形光学特性等を十分に発揮できていない現状である。

【0006】他方、火炎加水分解法による場合には、導波路の作製工程が複雑であり、使用可能な材料も石英を主成分とするガラス組成に限られる。また、基板表面に堆積した微粒子をガラス層に改質することから、円形の断面をもつ光導波路の作製が困難である。更に、火炎加水分解法でも、イオン交換法と同様に、三次元的に組み合わされた光導波路を形成することが困難である。本発明は、このような問題を解消すべく案出されたものであり、非線形性の大きなガラス材料の内部でレーザー光の集光点を相対的に移動させることにより、屈折率変化をもたらす構造変化をガラス材料の内部に起こさせ、使用可能なガラス材料の種類にほとんど制約を受けることなく、必要形状の光導波路が簡便に形成された光導波回路を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の光導波回路は、その目的を達成するため、非線形光学効果を呈するガラス材料を基体又は基体の一部とし、レーザー光の集光照射によって屈折率を変化させた部分が光導波路として基体内部に形成されていることを特徴とする。ガラス材料としては、酸化物ガラス、ハロゲン化物ガラス、硫化物ガラス、カルコゲナイドガラス等が使用される。光導波路は、たとえば二股状に分岐され、分岐した一方の光導波路が非線形光学効果を呈するガラス材料の内部に形成されている。この光導波回路は、光カーシャッタ型スイッチ、マッハ・チェンダー型スイッチ、方向性結合器型スイッチ等に組み込まれ、応答性の高い光スイッチを構成する。

【0008】

【実施の形態】本発明者等は、レーザー光の集光照射で作製した光導波路の光スイッチング特性について調査検討した結果、本発明に達した。本発明に従った光導波路は、レーザー光の集光照射により屈折率変化がガラス材料の内部に連続して形成されている。このように光導波路を形成するとき、従来の複雑な工程を経る必要なく光スイッチ等の非線形光学装置が簡便に作製される。作製された非線形光学装置は、光カーシャッタスイッチ、マッハ・チェンダー型光スイッチ、方向性結合器型光スイッチ等として使用可能であり、何れも三次の非線形光学効果を利用することにより高速の光スイッチング動作が可能である。

【0009】非線形光学装置用の光導波路を作製するためのガラス材料には、透明度の高い種々の非線形光学ガラスである限り、その材質に制約を受けることがない。

たとえば、酸化物ガラス、ハロゲン化物ガラス、硫化物ガラス、カルコゲナイドガラス等、種々の材料系が使用可能である。三次非線形性の大きな酸化物ガラスとしてはケイ酸塩系、硼酸塩系、リン酸塩系、フッリン酸塩系、ゲルマネイト系、テルライト系等、硫化物系ガラスとしてはGa-La-S系、Ge-S系等、ハロゲン化物ガラスとしてはBeF<sub>2</sub>系、ZrF<sub>4</sub>系、InF<sub>3</sub>系、Cd-Zn-Cl系等、カルコゲナイドガラスにはAs-S系、As-Se系、Si-Te系等がある。

【0010】本発明に従った光導波路は、光誘起屈折率変化を起こすエネルギー量をもつレーザー光をガラス材料の内部に集光し、連続した屈折率変化領域がガラス材料の内部に形成されるように、ガラス材料の内部で集光点を相対移動させることにより製造される。具体的には、図2で模式的に示すように、レーザー光21を集光レンズ22等からなる集光装置で集光し、ガラス材料20の内部に集光点23を位置させる。この集光点23をガラス材料20の内部で相対的に移動させることにより、光導波路24、25として働く連続した屈折率変化領域がガラス材料20の内部に形成される。集光点23の相対移動には、たとえばレーザー光21の集光点23に対してガラス材料20を連続的に移動させる方式、ガラス材料20の内部でレーザー光21の集光点を連続的に移動させる方式等が採用される。ガラス材料20の内部に形成される光導波路は、集光点23の相対移動に応じて自由に設計される。たとえば、集光点23を一方向に相対移動させると、図3に示す光導波路24が形成される。また、集光点23を二方向に相対移動させると、図4に示す二股状の光導波路25が形成される。

【0011】光誘起屈折率変化は、ピークパワー強度が高いほど促進される。しかし、過度に大きなエネルギー量のレーザー光を得ることは実際面で困難である。この点は、パルス幅を狭くしてピーク出力を高めたレーザー光を使用することにより克服できる。ただし、パルス状のレーザー光を使用するとき、ガラス材料の内部に形成される光導波路を滑らかな構造にするため、パルスレーザーの繰返し周波数を10kHz以上にすることが好ましい。

【0012】

【作用】パルスレーザーの照射によって屈折率が変化する現象は、光誘起屈折率変化と呼ばれており、P、Ce、Ge等を添加したシリカガラスの例が知られている。この現象は、紫外域に固有吸収をもつ酸素欠陥がガラス中に存在しており、吸収波長のレーザーを照射することによって酸素欠陥の一部が構造変化することに起因すると考えられており、発振波長が紫外域にあるエキシマレーザーでの研究が進められている。しかし、この方法で使用されるレーザー光は、10kHz未満の低い繰返し周波数であるため、十分なエネルギーを照射部分に与えることができない。そのため、屈折率変化領域の形状がスポット的になり、連続的な屈折率変化を必要とする光導波路を

形成するまでには至らない。また、パルス幅が一定の状態では強制的に繰返し周波数を高くすると、パルス当りのエネルギーが低くなり、屈折率変化を誘起させること自体が困難になる。

【0013】ところで、パルスレーザのパルス幅を狭くすると、高いピーク出力が得られる。このようにピーク出力を高めればガラスの固有吸収以外の波長をもつパルスレーザ光を使用しても、10kHz以上の繰返し周波数をもつ限りガラス組成に関係なく、レーザ光の集光部分で屈折率が変化する現象が確認される。滑らかな導波路構造を形成する上では、第1パルスと第2パルスが可能な限り短い期間で照射されるように、パルス間隔を狭く、換言すれば繰返し周波数を高くする必要がある。この点でも、パルスレーザの繰返し周波数を10kHz以上、好ましくは100kHz以上に設定する。繰返し周波数が低いとレーザ光が離散的に照射され、導波路の形成に必要な連続的な屈折率変化が得られない。

【0014】繰返し周波数の上限は、無限大の限りなく連続レーザに近いものである。しかし、繰返し周波数を高くすると、一般的にパルス当りのエネルギーが弱くなる。そこで、実際にはガラス材料が屈折率変化を起こす閾値及び使用するレーザの出力によって、繰返し周波数の上限を設定する。繰返し周波数が高い場合、レーザ又はガラス材料を連続的に相対移動することにより、集光部分の軌跡に連続的な屈折率変化領域が形成される。この屈折率変化領域は、レーザ光照射前のガラスの屈折率より高いことから光導波路として利用される。ガラス材料又はレーザ光の集光点の走査速度を遅くすることにより、ガラス材料に対してレーザ光を連続照射できる。しかし、第1パルス照射後に一定の時間をおいて第2パルスが重なった状態で照射されるため、第1パルスで形成された屈折率変化が第2パルスにより再変化し、滑らかな導波路構造が得られない。

【0015】本発明によるとき、所望の形状を持った光導波路が容易に得られる。しかも、従来の作製工程と異なり、光導波路の作製に使用するレーザ光と非線形光学装置に用いるレーザ光源とを共用できるため、作業の効率化及び作業速度の高速化が可能となる。波長可変のレーザ光源を用いた場合、光導波路作製の波長と非線形光学装置駆動時の波長を変えることもできる。また、本発明による非線形光導波路は、コア部の断面が円形であることから、入射したレーザ光の直線偏波の偏光保持率が高い等の光学特性に優れている。したがって、非線形光学素子として好適に使用され、これを用いて構成する光スイッチを始めとする非線形光学装置は高速・高効率で動作し、実用に十分供し得る。以下の実施例では、レーザ照射によって非線形光学ガラス材料に屈折率変化（線形屈折率の変化）を起こさせ、それにより作製した光導波路及びそれを用いた非線形光学装置を中心として説明する。ただし、本発明は、実施例に何ら拘束される

ものでなく、要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能なことは勿論である。

【0016】

【実施例】

実施例1：光カースイッチ用光導波路の作製

PbO：10モル％、TiO<sub>2</sub>：10モル％、TeO<sub>2</sub>：80モル％の組成をもつテルライトガラスから10mm×1mm×10mmの立方体形状の試験片を切り出した。Arレーザ励起のチタンサファイアレーザから発振されたパルス幅150fs、繰返し周波数200kHz、波長0.8μm、平均出力10～50mWのパルスレーザ光を使用し、集光レンズで集光し、試験片の内部に集光点が位置するように調節して試験片を照射した。照射後の試験片を観察すると、集光点の屈折率が0.01だけ上昇していた。屈折率の変化は、ナノ秒又はピコ秒オーダーの極く短時間で生じた。試験片又は集光点を連続的に一方向に相対移動させることにより、試験片の内部に直線状の高屈折率領域、すなわち直線状の光導波路が形成された。光導波路の形成如何は、実際に通信波長帯のレーザ光を試験片に入射し、屈折率変化を起こしている部分のみに光が伝播されていることを観測することにより確認できた。また、出射側の近視野像から光導波路の断面が直径（コア径）4μmであること、及び少なくとも通信波長帯域においてシングルモード伝播が実現されていることも判明した。

【0017】更に、組成が異なるテルライトガラスや、純粋なシリカガラス、Ge等をドーピングしたシリカ系ガラス、リン酸塩ガラス、ホウ酸塩ガラス、フッ化物ガラス、塩化物ガラス、ゲルマネイト、カルコゲナイド等のガラスについても、同様なレーザ照射によって光導波路が形成されることを確認した。また、以上の例では0.8μmの波長をもつレーザ光で照射したが、他の波長、たとえば通信波長帯の1.3μmや1.55μmの波長をもつレーザ光を照射しても同様の屈折率変化が観測された。光導波路は、使用する集光レンズの焦点距離を変えることによりコア径の大きさが調整可能であった。このようにして形成された光導波路は、コアとクラッドとの間に明確な界面が存在しないので界面損失が極めて少ない。そのため、本発明は、光集積回路等における微細な導波路形成法として活用される。

【0018】実施例2：マッハ・チェンダー型光スイッチ用光導波路の作製

マッハ・チェンダー型光スイッチ用光導波路は、種々の工程で作製できる。たとえば、図5で模式的に示すように、予め4つに切られた基板31～34を用意し、そのうちの一つの基板31にのみテルライト系のような非線形性の大きな材料を使用し、残りの3つの基板32～34にはシリカガラスのように非線形性の小さな材料を使用する。それぞれの基板31～34をレーザ照射することにより光導波路31a～34aを形成させた後、光学

接着剤で各基板31～34を貼り合わせる。或いは、図6で模式的に示すように、所定の大きさをもつ一つの基板35を使用する。基板35は、シリカガラスのような非線形性の小さいガラスでできており、テルライトガラスのような非線形性の大きい材料36をスパッタ法等で基板35の一部表面に盛り付ける。次いで、レーザ照射によりマッハ・チェンダー型光導波路35aが基板35に書き込まれる。何れの場合も、基板31～15を搭載した微動台の操作によって、必要形状の光導波路31a～35aが容易に書き込まれる。

【0019】本実施例では、 $PbO$ ：25モル％、 $TiO_2$ ：10モル％、 $TeO_2$ ：65モル％の組成をもつテルライトガラスを非線形性の大きな材料として、シリカ100％のガラスを非線形性の小さな材料として使用した。Arレーザ励起のチタンサファイアレーザから発振されたパルス幅150fs、繰返し周波数200kHz、波長0.8 $\mu$ m、平均出力10～50mWのパルスレーザ光を使用し、集光レンズで集光し、試験片の内部に集光点が位置するように調節して試験片を照射した。集光点の屈折率は、テルライトガラスでは0.01、シリカガラスでは0.005だけ上昇した。作製した光導波路の基本性能を調査するため、実際に通信波長帯のレーザ光を光導波路に入射させたところ、屈折率変化を起こしている部分のみに光の伝播が観察され、シングルモード伝播が実現していることが判明した。形成された光導波路は、出射側の近視野像から1 $\mu$ mのコア径をもっていることが判った。光導波路の素子全体としてのサイズは、10mm×1mm×20mmであった。

【0020】更に、組成が異なるテルライトガラスや、Ge等をドーブしたシリカ系ガラス、リン酸塩ガラス、ホウ酸塩ガラス、フッ化物ガラス、塩化物ガラス、硫化物ガラス、ゲルマネイト、カルコゲナイド等のガラスについても、同様なレーザ照射によって光導波路が形成されることを確認した。他方、非線形性の小さな材料として、純粋なシリカガラスに替えてドーブ量の少ないGeドーブシリカ系ガラス等も使用可能であった。本実施例で得られた光導波路も、コアとクラッドとの間に明確な界面が存在しないことから界面損失が極めて少ないことが確認された。

#### 【0021】実施例3：方向性結合器型光スイッチ用光導波路の作製

方向性結合器型光スイッチ用光導波路も、マッハ・チェンダー型と同様に種々の工程で作製できる。たとえば、図7で模式的に示すように、予め4つに切られた基板41～44を用意し、そのうちの一つの基板41にのみテルライト系のような非線形性の大きな材料を使用し、残りの3つの基板42～44にはシリカガラスのように非線形性の小さな材料を使用する。それぞれの基板41～44をレーザ照射することにより光導波路41a～44aを形成させた後、光学接着剤で各基板41～44を貼

り合わせる。或いは、図6で模式的に示すように、所定の大きさをもつ一つの基板45を使用する。基板45は、シリカガラスのような非線形性の小さいガラスでできており、テルライトガラスのような非線形性の大きい材料46をスパッタ法等で基板45の一部表面に盛り付ける。次いで、レーザ照射により方向性結合器型光導波路45aが基板45に書き込まれる。何れの場合も、基板41～45を搭載した微動台の操作によって、必要形状の光導波路41a～45aが容易に書き込まれる。

【0022】本実施例では、 $PbO$ ：20モル％、 $TiO_2$ ：5モル％、 $TeO_2$ ：75モル％の組成をもつテルライトガラスを非線形性の大きな材料として、シリカ100％のガラスを非線形性の小さな材料として使用した。Arレーザ励起のチタンサファイアレーザから発振されたパルス幅150fs、繰返し周波数200kHz、波長0.8 $\mu$ m、平均出力10～50mWのパルスレーザ光を使用し、集光レンズで集光し、試験片の内部に集光点が位置するように調節して試験片を照射した。集光点の屈折率は、テルライトガラスでは0.01、シリカガラスでは0.005だけ上昇した。作製した光導波路の基本性能を調査するため、実際に通信波長帯のレーザ光を光導波路に入射させたところ、屈折率変化を起こしている部分のみに光の伝播が観察され、シングルモード伝播が実現していることが判明した。形成された光導波路は、出射側の近視野像から4 $\mu$ mのコア径をもっていることが判った。光導波路の素子全体としてのサイズは、10mm×1mm×20mmであった。

【0023】更に、組成が異なるテルライトガラスや、Ge等をドーブしたシリカ系ガラス、リン酸塩ガラス、ホウ酸塩ガラス、フッ化物ガラス、塩化物ガラス、硫化物ガラス、ゲルマネイト、カルコゲナイド等のガラスについても、同様なレーザ照射によって光導波路が形成されることを確認した。他方、非線形性の小さな材料として、純粋なシリカガラスに替えてドーブ量の少ないGeドーブシリカ系ガラスやフッ化物ガラス等も使用可能であった。本実施例で得られた光導波路も、コアとクラッドとの間に明確な界面が存在しないことから界面損失が極めて少ないことが確認された。

#### 【0024】実施例4：光カーシャッタスイッチへの適用

実施例1で作製したコア径4 $\mu$ m、長さ10mmの光導波路を用いて光カーシャッタスイッチを構成した。図9は、光カーシャッタスイッチ50の光学系を示し、OPA (optical parametric amplifier) を通過した波長1.30 $\mu$ mのチタンサファイアレーザ光(100fs, 100Hz)をゲート光 $P_g$ として使用し、光源51からゲート光パルスに同期させた波長1.32 $\mu$ m、パルス幅10nsの半導体レーザ光をプローブ光 $P_i$ として出射した。プローブ光 $P_i$ は、 $\lambda/2$ 波長板52により直線偏波の偏光方向をゲート光 $P_g$ の直線偏波の偏

光方向に対して $\pi/4$ だけ傾けられ、偏光子53a、ミラー54、レンズ55aを通過して光導波路56に至る。

【0025】この光学系では、ミラー54によりゲート光 $P_g$ とプローブ光 $P_i$ がコリニア系（共軸系）になっているので、光導波路56をカー媒質として使用することが可能となる。プローブ光 $P_i$ は、光導波路56を通過した後、更にレンズ55b、フィルタ57、検光子53bを経て検出器58に送られる。検出器58には、光電子増倍管、InGaAs-PINフォトダイオード等が使用される。ゲート光 $P_g$ は、フィルタ57で遮られ、検出器58まで達しない。なお、フィルタ57に替えて分光器を使用することもできる。ゲート光 $P_g$ のパワーを調整しスイッチング動作を調査したところ、プローブ光 $P_g$ の通過率 $T$ 値が式 $T \propto \sin^2(n_{2B} L I_g)$ に従った挙動を示し、図10にみられるように正しく光シャッタ動作を示していることが確認された。位相変化量 $\pi$ も実現され、この結果から本実施例で使用したテルライトガラスのカー定数 $n_{2B}$ が $4.8 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{W}$ と算出された。通信波長帯には大きな吸収がなく、二光子吸収の影響もみられなかった。波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯での同様の実験も可能であり、スイッチング動作の際のゲート光照射によるコア部の線形屈折率自体の変化も検出されなかった。また、スイッチングに必要なレーザパワーは、光導波路の作製に必要なパワーと比較して3桁程度小さいもので十分であった。

【0026】本実施例では、大型のチタンサファイアレーザ光のOPAを経たレーザ光を光源とした。しかし、これに拘束されることなく、小型レーザをゲート光 $P_g$ として駆動させることも可能である。また、市販の半導体レーザ（波長 $1.30 \mu\text{m}$ 、パルス幅 $10 \text{ ns}$ 、繰返し周波数 $150 \text{ MHz}$ ）をゲート光 $P_g$ として用い、半導体レーザによるプローブ光 $P_i$ を用いても、光カーシャッタ動作が確認され、位相変化量 $\pi/9$ が達成された。このことから、光学系が大幅にコンパクト化されることが判る。本発明に従った光カーシャッタスイッチでは、非線形性がより大きな材料を使用することにより、必要なゲート光パワーを低減させることができる。たとえば、カルコゲナイドガラス（ $\text{As}_{40}\text{S}_{57}\text{Se}_3$ 、 $n_{2B} = 1.3 \times 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{W}$ ）を用い、レーザ光の平均照射パワーを $5 \text{ mW}$ とする外は実施例1と同様に光導波路を作製した。この場合の屈折率変化は、 $0.01$ であった。この光導波路を組み込んだ光カーシャッタスイッチでは、位相変化量 $\pi$ のためのゲート光パワーが $100 \text{ W}$ 以下に大幅に低減されることが確認された。

【0027】本実施例で用いた光電子増倍管又はPINフォトダイオードでは、それ自体の応答速度がナノ秒で止まってしまう。そこで、プローブ光パルスをゲート光パルスに対して遅延を掛ける一般的な測定手法により、光カーシャッタスイッチの応答速度を調査した。測定の結果、

スイッチング速度は、入射したゲート光のパルス幅と同程度以下であり、高速な電子分極効果により光スイッチングが生じていることが確認された。また、二光子吸収や熱効果による低速化、群遅延分散による低速化等が排除されていた。本実施例で採用した光カーシャッタスイッチは、サブピコ秒以下のスイッチングスピードをもつ。そのため、信号光に $100 \text{ GHz}$ 以上の変調をかける変調機能、 $100 \text{ GHz}$ 以上の繰返し周波数をもつ信号光パルス列から任意の信号パルスを取り出し、低繰返しのパルス列に変換するデマルチプレクシング機能、幾つかの低繰返し光パルス列を $100 \text{ GHz}$ 以上の光パルス列に多重化するマルチプレクシング機能等を備えた光カーシャッタスイッチとなる。

#### 【0028】実施例5：マッハ・チェンダー型光スイッチへの適用

実施例2で作製したコア径 $4 \mu\text{m}$ 、長さ $10 \text{ mm}$ の光導波路をマッハ・チェンダー型光スイッチに組み込み、光スイッチング実験に供した。マッハ・チェンダー型光スイッチでは、先ず素子の一端に入射したレーザ光を分波し、分波された一方の光波にのみ非線形媒質を通過させる、この光波は、非線形媒質により位相シフトが与えられた後、位相シフトを与えていない残りの光波と再び合波される。合波の際に、元の出力光に変調が加わった出力光が得られる。本実施例では、OPA（optical parametric amplifier）を通過した波長 $1.35 \mu\text{m}$ のチタンサファイアレーザ光（ $100 \text{ fs}$ 、 $100 \text{ Hz}$ ）を用い、光電子増倍管又はInGaAs-PINフォトダイオードを検出器として使用した。光スイッチング実験の結果を示した図11にみられるように、当初 $80\%$ であった出力光が三次の非線形光学効果によって変調を受けた結果、 $20\%$ まで変化しており、光スイッチング動作が実現されていることが判る。また、通信波長帯に大きな吸収がなく、二光子吸収等の影響もみられなかった。更に、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯でも同様な結果が得られ、スイッチング動作の際にゲート光照射によるコア部の線形屈折率自体の変化も検出されなかった。

【0029】本実施例のマッハ・チェンダー型光スイッチにおいても、非線形性のより大きな材料を使用すると、必要なレーザ光パワーを低減化できる。たとえば、カルコゲナイドガラス（ $\text{As}_{40}\text{S}_{58}\text{Se}_2$ ）を用い、平均パワー $5 \text{ mW}$ のレーザ光で照射する外は実施例2と同様に作製した光導波路を組み込んだマッハ・チェンダー型光スイッチでは、必要なレーザ光パワーが $50 \text{ W}$ 以下になることが確認された。なお、カルコゲナイドガラスは、平均パワー $5 \text{ mW}$ のレーザ光で照射された際に $0.01$ の屈折率変化を示した。応答速度に関しても、光カーシャッタスイッチの場合と同様に高速であった。この場合も、二光子吸収や熱効果による低速化や群遅延分散による低速化等が排除された純粋な電子分極効果による高速応答が可能であった。



### 【0030】実施例6：方向性結合器型光スイッチへの適用

実施例3で作製されたコア径 $4\mu\text{m}$ 、長さ $10\text{mm}$ の光導波路を方向性結合器型光スイッチに組み込み、光スイッチング実験に供した。方向性結合器型光スイッチは、図12に示すように2本の導波路61、62を十分に近付けたとき一方の導波路61（非線形導波路）に入射された光波モードが他方に結合し、両モード間で伝送光エネルギーの移動が起こり、結果として出射端からの光エネルギーがオン・オフされる現象を利用している。本実施例では、OPA（optical parametric amplifier）を通過した波長 $1.32\mu\text{m}$ のチタンサファイアレーザ光（ $100\text{fs}$ 、 $100\text{Hz}$ ）を用い、光電子増倍管又はInGaAs-PINフォトダイオードを検出器として使用した。図13の試験結果にみられるように、非線形導波路61の出射端における出力 $P_1$ は当初65%であったが、三次の非線形光学効果によって結合が起こった結果、55%にまで減少した。逆に、他方の導波路62の出射端における出力 $P_2$ は当初35%であったが、結合によって45%に増加していた。

【0031】出力 $P_1$ 、 $P_2$ の変化から光スイッチング動作が起こっていることが判る。この場合でも、通信波長帯には大きな吸収がなく、二光子吸収の影響も検出されなかった。波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯での実験でも同様な結果が得られ、スイッチング動作の際にゲート光照射によるコア部の線形屈折率自体の変化も検出されなかった。本実施例の方向性結合器型光スイッチにおいても、非線形性のより大きな材料を使用すると、必要なレーザ光パワーを低減化できる。たとえば、カルコゲナイドガラス（ $\text{As}_{40}\text{S}_{58}\text{Se}_2$ ）を用い、平均パワー $5\text{mW}$ のレーザ光で照射する外は実施例3と同様にして作製した光導波路を組み込んだ方向性結合器型光スイッチでは、必要なレーザ光パワーが $150\text{W}$ 以下になることが確認された。なお、カルコゲナイドガラスは、平均パワー $5\text{mW}$ のレーザ光で照射された際に0.01の屈折率変化を示した。応答速度に関しても、光カーシャッタスイッチの場合と同様に高速であった。この場合も、二光子吸収や熱効果による低速化や群遅延分散による低速化等が排除された純粋な電子分極効果による高速応答が可能であった。

### 【0032】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明の光導波路は、レーザ光の集光照射で光誘起屈折率変化領域を連続的に形成した光導波路をガラス基体の内部に書き込んでいる。そのため、三次元的にも複雑な構造をもつ光導波路が容易に形成される。しかも、この導波路を用いた非線形光学装置は、高能率に動作することは勿論、良好な光学特性等を備えていることから光情報処理や光通信分野で重用される。また、平面型の光導波路とすると、光ファイバ型と異なり、PLC（Planar Lightwave Cir

cuit）等、広い展開を図ることが可能である。しかも、本発明に従った非線形光学装置は、純粋な電子分極効果による非線形メカニズムを利用しているので、通信波長帯を含む広い波長範囲でサブピコ秒以下の高速動作を実現できる。更に、本発明の光導波路及びこれを用いた非線形光学装置は、前述したような純粋な三次非線形光学効果を利用する光デバイスだけではなく、他の非線形光学効果、たとえば二次のカスケード効果を用いた光スイッチ等にも転用できる。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】 光カーシャッタスイッチの模式図

【図2】 本発明に従った光導波路の作製方法を説明する図

【図3】 集光点の一方向相対移動により形成された光導波路

【図4】 集光点の二方向相対移動により形成された光導波路

【図5】 本発明に従ってマッハ・チェンダー型光スイッチ用の光導波路を作製するプロセスの一例

【図6】 本発明に従ってマッハ・チェンダー型光スイッチ用の光導波路を作製するプロセスの他の例

【図7】 本発明に従って方向性結合器型光スイッチ用の光導波路を作製するプロセスの一例

【図8】 本発明に従って方向性結合器型光スイッチ用の光導波路を作製するプロセスの他の例

【図9】 実施例1で作製した光導波路を組み込んだ光カーシャッタスイッチの光学系

【図10】 同光カーシャッタスイッチの特性を示すグラフ

【図11】 実施例2で作製した光導波路を組み込んだマッハ・チェンダー型光スイッチの特性を示すグラフ

【図12】 方向性結合器型光スイッチに組み込まれた光導波路の入力と出力との関係を示す図

【図13】 実施例6で調査した方向性結合器型光スイッチの特性を示すグラフ

### 【符号の説明】

10：光カースイッチ    11：偏光子    12：検光子    13：非線形屈折率媒質（カー媒質）

20：ガラス材料    21：レーザ光    22：集光レンズ    23：集光点

24、25：光導波路

31～35、41～45：基板    31a～35a、41a～45a：光導波路

36、46：非線形性の大きな材料

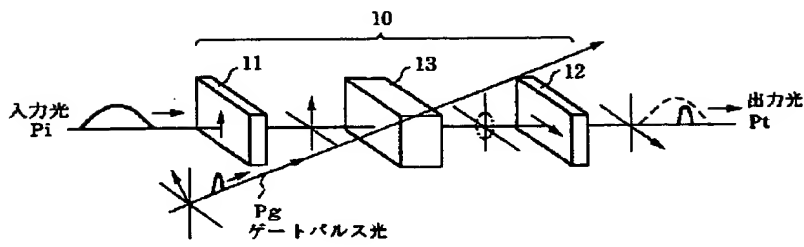
50：光カーシャッタスイッチ    51：光源    52： $\lambda/2$ 波長板

53a：偏光子    53b：検光子    54：ミラー    55a、55b：レンズ    56：光導波路

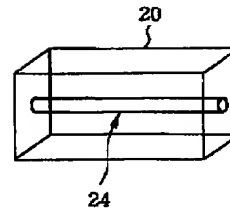
57：フィルタ    58：検出器

61：非線形性の導波路    62：通常の導波路

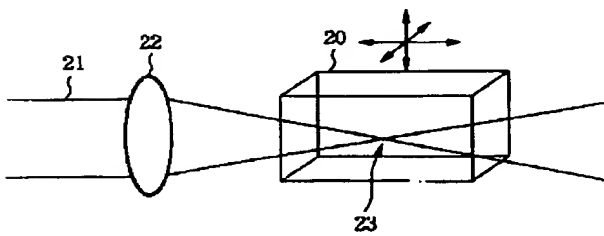
【図1】



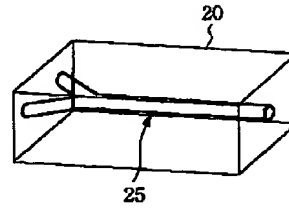
【図3】



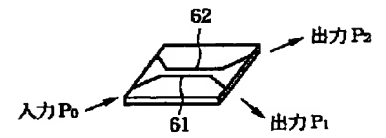
【図2】



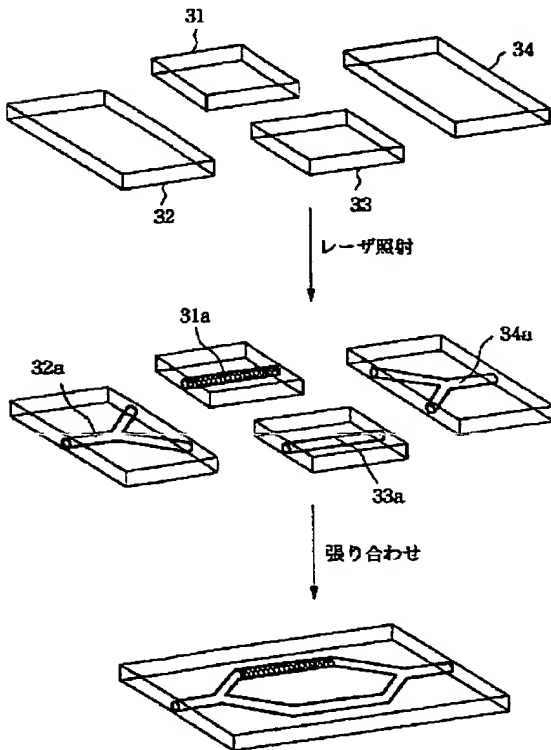
【図4】



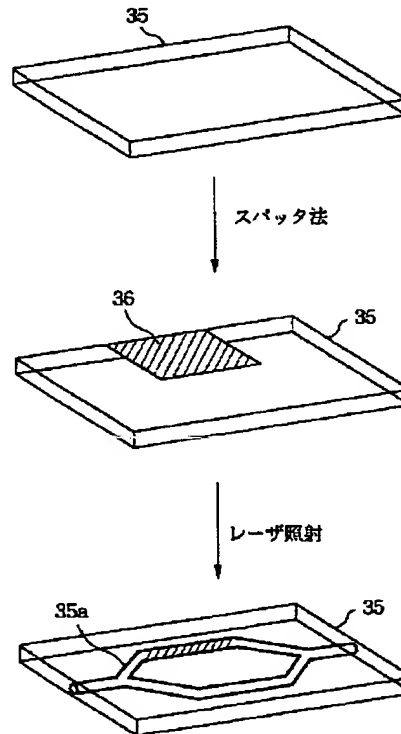
【図12】



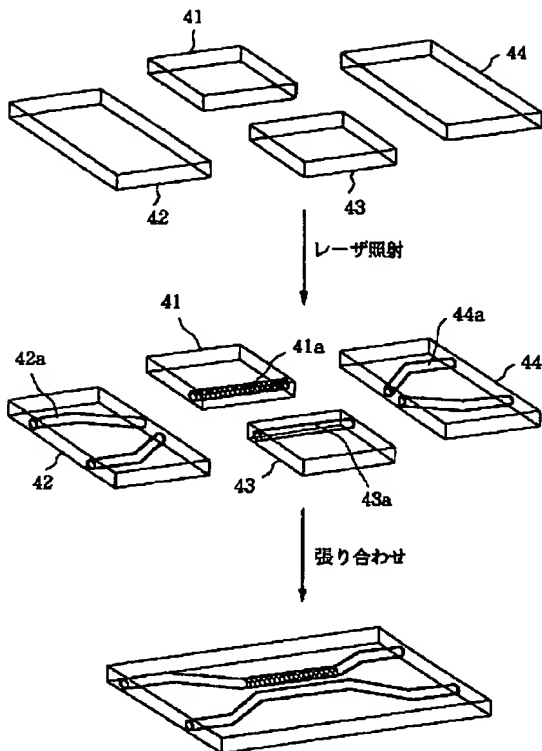
【図5】



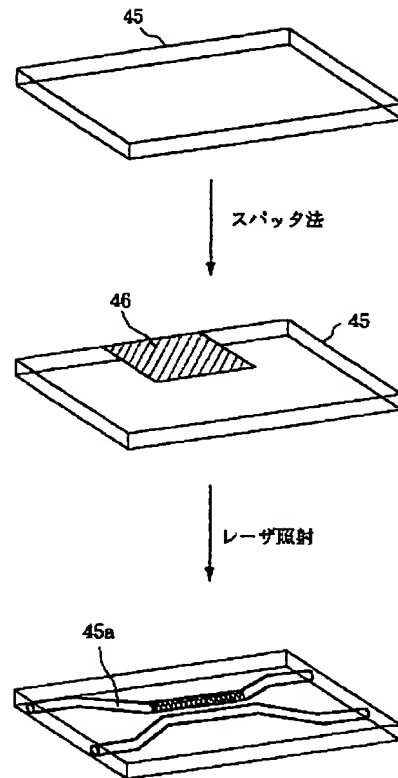
【図6】



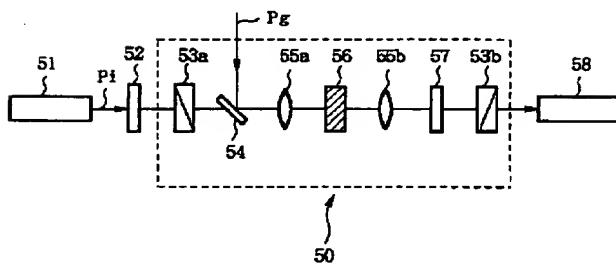
【図7】



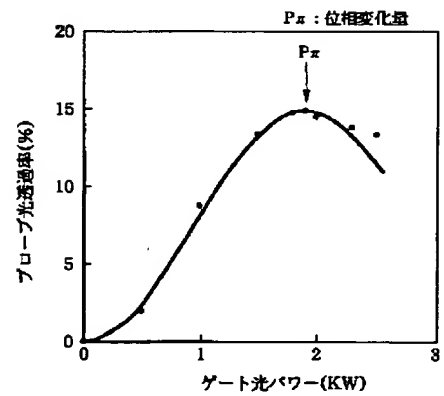
【図8】



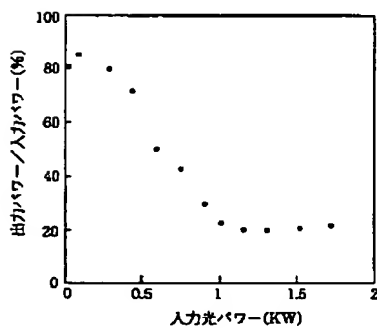
【図9】



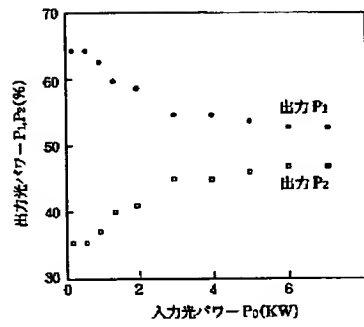
【図10】



【図11】



【図13】



---

フロントページの続き

(72)発明者 三浦 清貴  
奈良県奈良市朱雀1丁目13-22

(72)発明者 平尾 一之  
京都府相楽郡木津町木津川台3-5-8